

国家标准

《钼丝》

编

制

说

明

(送审稿)

厦门虹鹭钨钼工业有限公司

标准编制组

2026 年 8 月

国家标准《钼丝》编制说明

(送审稿)

一、工作简况

(一)任务来源

1.1 任务来源

根据 2025 年 8 月 6 日，国家标准化管理委员会《关于下达 2025 年第七批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕43 号）的要求，国家标准《钼丝》修订项目由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）归口，计划编号：20253829-T-610，项目周期为 16 个月，完成年限为 2026 年 12 月。国家标准项目《钼丝》计划主要起草单位由厦门虹鹭钨钼工业有限公司、金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、自贡硬质合金有限责任公司、安泰天龙钨钼科技有限公司负责起草。

1.2 项目编制组单位变化情况

依据实际工作任务对编制组单位进行了调整，调整后的编制组由以下单位构成：厦门虹鹭钨钼工业有限公司、金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、金堆城钼业光明（山东）股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、安泰天龙钨钼科技有限公司。

其中，原起草单位自贡硬质合金有限责任公司，因其钨钼业务已整合至其全资子公司——成都长城钨钼新材料有限责任公司，故变更为该公司参加本标准的具体编制工作。

另外，赣州虹飞钨钼材料有限公司退出本次标准编制工作。

(二)项目背景

钼丝作为重要的钼基功能材料，广泛应用于电火花线切割、电子元器件、航空航天、汽车制造、医疗设备、半导体等多个领域，构成了多元化的整体钼丝市场。其中，电火花线切割钼丝凭借其独特的精密加工适配性，成为整体钼丝市场中需求量大、技术关联性强的核心细分品类，其质量水平不仅直接影响自身应用领域的发展，更对整体钼丝市场的产品结构优化、技术升级方向具有重要牵引作用。

国家“第十四个五年规划”和《中国制造 2025》明确指出，核心基础零部件（元器件）、先进基础工艺、关键基础材料和产业技术基础等瓶颈短板，是制约我国制造业创新发展和质量提升的症结所在。这一要求同样适用于整体钼丝市场，而电火花线切割加工技术作为超硬材料和复杂形状零件的精密基础加工技术，其配套的钼丝材料性能，正是整体钼丝市场中“关键基础材料”能力的重要体现。相较于其他钼丝品类，线切割钼丝需具备切割多种钢材和硬质合金、加工复杂零件的适配性，同时兼具优良导电性能、稳定放电加工特性，以及高韧性、高强度、低延伸率等核心优势，是目前电火花线切割机床的理想电极丝，其技术迭代节奏与整体钼丝市场的高端化发展趋势高度契合。

当前，随着社会工业化程度不断提高，国内制造业人工、材料成本大幅上升，整体钼丝市场面临着产品升级、效率提升、绿色低碳发展的共同需求。其中，电火花线切割技术领域对生产效率、加工质量和智能化程度的提升需求尤为迫切，进而倒逼配套钼丝材料升级。为响应国家“第十四个五年规划”，落实工信部《工业领域碳达峰实施方案》中“效率优先，源头把控”的工作原则，提高电火花切割加工效率已成为行业核心诉求。目前，电火花切割加工的平均加工电流已由原来的 2~3A 提升至 4A 以上，生产效率翻倍，但现有电火花线切割钼丝因强度不足，难以长期承载 4A 以上的超负荷大电流工作，导致使用寿命短、加工件质量差，这一问题不仅制约了电火花线切割钼丝细分市场的发展，也影响了整体钼丝市场在高端制造领域的供给能力，成为整体钼丝市场对接高端制造业需求的突出短板。

为保障我国在整体钼丝市场的技术优势和行业竞争力，推动整个钼丝产业健康有序发展，顺应市场高端化、精细化发展趋势，针对核心细分品类——电火花线切割钼丝的性能升级需求，亟需提出明确的技术提升方向，进而带动整体钼丝市场的质量管控水平提升：

1、在平均加工电流达到 4A 以上时，电火花线切割加工钼丝的表层承受温度可达到 1300℃，甚至是 1500℃以上，需新增“高温抗拉强度”指标，以精准表征该类钼丝在实际加工环境下的核心工作能力，填补整体钼丝市场中高温工况适配品类的技术标准空白；

2、为满足 4A 以上大电流工作需求，需针对性提高线切割钼丝的室温抗拉强度。根据其规格不同，室温抗拉强度需在原有基础上提升 200MPa~400MPa，由原来的 1600MPa~2100MPa（各规格下限值）提升至 1800MPa~2400MPa，这一强度提升要求也为整体钼丝市场中高强度品类的标准制定提供了重要参考；

3、为保证钼丝在电火花线切割加工中的稳定放电和持续工作，需对其直线性做出具体要求，进一步完善整体钼丝市场中精密加工适配品类的技术规范。

随着整体钼丝市场的细分领域不断拓展、应用场景持续升级，现行国标《钼丝》作为覆盖全品类的通用标准，已无法精准匹配各细分领域的个性化技术要求，尤其难以满足电火花线切割钼丝这一核心品类的高质量发展要求。钼作为《2024 年国家标准立项指南》中材料领域的修订重点，亟需结合整体钼丝市场的发展现状，专门界定国内外客户对电火花线切割用钼丝的特殊技术要求。本次修订不仅符合《国家标准化发展纲要》行动计划中“提升装备制造业标准水平”的总体要求，更能填补整体钼丝市场细分品类标准的空白，优化钼丝标准体系结构，推动整体钼丝产业向高端化、规范化发展。因此，建议对现行国标《钼丝》中电火花线切割钼丝的技术要求进行修订，以精准匹配细分市场需求，进而提升整体钼丝市场的供给质量和核心竞争力。

(三)主要参加单位和工作成员及其所作的工作

3.1 起草单位情况

厦门虹鹭钨钼工业有限公司主要从事钨、钼等难熔金属的棒材、杆材、丝材、深加工制品等的研发与生产，产品广泛应用于电光源及电真空、半导体及电子技术、航空航天及汽车工业、工业窑炉、机械制造及焊接、3C 及医疗等多个领域。拥有年生产能力：粗钨丝 4000 吨，细钨丝 2000 亿米，粗钼丝 1500 吨，细钼丝 32 亿米，钨钼制品 1500 吨。作为标准起草的负责单位，在工作前期，对钼丝产品系列和现阶段国内外产品现状进行了充分的调研和梳理，制定了系统的研究方案。在标准制定过程中，负责项目的总体实施和策划，积极组织各参编单位收集并认真研究国内外相关技术标准资料，结合生产实际，充分调研和了解现场实际情况，收集实测数据，编制实测数据统计表，认真细致地修改标准文本。

金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、金堆城钼业光明（山东）股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、安泰天龙钨钼科技有限公司等公司积极参加标准调研工作，配合主编单位开展大量的现场调研、各种试验工作，结合生产情况、上下游企业的要求，针对标准提出修改意见。

3.2 主要工作成员所负责的工作情况

本文件主要起草人：本公司、参编单位参与起草标准的人员。

本文件主要起草人及工作职责见表 1。

表1 主要起草人及工作职责

所在企业	起草人	工作职责
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	蔡协勇	负责标准的工作指导，标准的编写，提供理论支撑，试验方案确定及组织协调
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	吴维嘉	负责标准中相关技术要求内容的编写，提供理论支撑，并对国内外钨丝相关标准对比提供支持
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	刘文婷	负责标准中相关技术要求内容的编写，修订流程对接，编写材料收集及审查支持
金堆城钼业股份有限公司	王峰	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
成都虹波实业股份有限公司	任柴	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	张建新	负责标准中整体内容的审验把关和工作指导
金堆城钼业光明（山东）股份有限公司	黄立峰	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
成都长城钨钼新材料有限责任公司	徐兴松	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	张丁旺	提供第三方的检测服务，整理试验验证数据的积累和对比分析
成都虹波实业股份有限公司	宋豪	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
厦门虹鹭钨钼工业有限公司	李凤金	负责标准中整体内容的审验
金堆城钼业光明（山东）股份有限公司	蒙笠	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
成都长城钨钼新材料有限责任公司	张圣杰	根据起草编制组工作要求，进行文本修改、校核和相关试验数据收集和反馈
安泰天龙钨钼科技有限公司	姚惠龙	根据起草编制组工作要求，进行文本校核与反馈
安泰天龙钨钼科技有限公司	郭鑫晴	对接编制组工作，收集反馈调研信息
成都虹波实业股份有限公司	李伟	根据起草编制组工作要求，收集反馈相关试验数据

(四) 主要工作过程

4.1 预研阶段

2024年3月，厦门虹鹭钨钼工业有限公司成立国家标准修订小组，对国内钼丝的生产现状进行调研，了解国内钼丝的制备技术水平、检测及市场应用情况，开展现场试验验证，与企业技术人员、客户深入讨论标准的技术要求。根据调研情况，整理并编制形成了《钼丝》国家标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

4.2 立项阶段

1) 2024年3月，厦门虹鹭钨钼工业有限公司向全国有色金属标准化委员会提交《钼丝》的标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，经全体委员会会议讨论同意《钼丝》国家标准立项，由全国有色金属标准化委员会转报上级单位。

2) 2025年8月，国家标准化管理委员会下达修订《钼丝》国家标准的任务，计划编号：20253829-T-610，项目周期为16个月，完成时间为2026年12月，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

4.3 起草阶段

本标准修订为修订标准，在起草阶段进行了大量的数据收集，同时兼顾全国钼丝生产厂家的现状。

1) 2025年8月召开工作会议，明确了工作的职能和任务。

2) 2025年9月~2025年12月，厦门虹鹭钨钼工业有限公司向金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司收集标准修订意见。对钼丝使用状况进行了相关资料的收集和总结，并对相关的技术资料进行了对比分析。

3) 2025年11月11日，在浙江杭州召开的全国有色金属标准化技术委员会年会上进行任务落实。

4) 2026年1月20日由全国有色金属标准化技术委员会主持，在广东珠海召开了有色金属标准工作会议，来自金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、赣州虹飞钨钼材料有限公司、金堆城钼业光明（山东）股份有限公司等多家单位专家对本标准进行了认真、细致的讨论，提出了修改意见及建议。标准编制组及时对讨论稿进行了修改，形成《钼丝》征求意见稿，同时，编制组根据征求意见稿中本次修订的性能要求及试验方法启动了验证工作。

4.4 征求意见阶段

本文件以召开专题会议、发送标准邮件、标委会网站上公开挂网等多种形式和办法进行了广泛的征求意见。

2026 年 5 月 21 日由全国有色金属标准化技术委员会主持，在湖南省衡阳市召开了有色金属标准工作会议，来金堆城钼业股份有限公司、成都虹波实业股份有限公司、成都长城钨钼新材料有限责任公司、金堆城钼业光明（山东）股份有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司等多家单位专家对本标准进行了认真、细致的讨论。

在征求意见阶段，共发函 15 家相关生产应用单位和检测单位，回函的单位共 13 家，回函并有建议或意见的单位共 3 家、没有回函的单位共 0 家，征求意见情况详见《标准征求意见稿意见汇总处理表》。

2026 年 6 月~2026 年 7 月，本文件编制组依据各单位提出的意见和建议，对征求意见稿进行了修改和完善，形成了标准送审稿及其编制说明。

二、 标准编制原则

2.1 原则性

本着与时俱进、切合实际、合理利用资源、促进科技进步、促进产业升级与产品结构调整、满足市场需要和供需双方公平受益、获取最大社会综合效益的基本原则。标准的制定格式严格按照 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定进行。

2.2 聚焦重点应用领域，提高标准适用性

——匹配行业发展需求：根据行业发展现状，针对电火花线切割钼丝领域的关键特性进行相关修改，提高标准的适用性；

——统一行业技术表述：将“线切割”规范为“电火花线切割”，精准匹配当前行业主流应用场景的术语定义。

2.3 聚焦核心使用场景，升级精准性能要求

——拓展极端工况性能覆盖：新增 1300℃高温抗拉强度要求，填补高温工况下强度稳定性的标准空白，规避线切割过程中高温断丝风险；

——提升关键力学性能门槛：提高电火花线切割用钼丝室温抗拉强度（如 30~130μm 丝段由≥2100MPa 升至≥2400MPa），同时明确延伸率范围，增强抗断丝能力与加工韧性匹配性；

——新增电火花线切割用钼丝专项技术要求：补充曲环法直线性指标，适配高精度加工对钼丝直线度的严苛需求。

三、 标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

（一）确定标准主要内容的论据

本文件修订国标《钼丝》。主要在对市场需求和国内钼丝的实际生产水平充分调研的基础上，对产品的分类、技术要求等内容进行了规定。

（二）标准内容确定的依据

2.1 范围

原标准中文件的适用范围标定为线切割，这样的表述是不准确的。钼丝多用于电火花线切割加工，电火花线切割加工是属于特种加工的一种，属于电加工的方式之一，仅仅用线切割来描述不能体现用途特征，容易被误解为机械切割。因此，本标准将“线切割”的表述进一步修改为“电火花线切割”，是更为精确和专业的技术术语，能清晰区别于机械切割等其他方式，与国际通用术语（Wire Electrical Discharge Machining）保持一致，体现了标准的专业性。

此外，原标准中适用范围的“线切割”在众多适用范围中的排列顺序为倒数第二，与现有的市场环境不符。现有电火花线切割市场容量达到50亿米，整体加工费高达335亿元，电火花线切割钼丝的用途已超过整体钼丝用途的30%以上，超过其他用途。因此，为了强调其重要性，提高本标准的适用性，修改过的“电火花线切割”用途顺序调整为适用范围的第一位，具体见表2所示。

表2 钼丝用途

状态	内容对比
修订前	本标准适用于照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、线切割、打印机针头等用钼丝。

状态	内容对比
修订后	本文件适用于电火花线切割、照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、打印机针头等用钼丝

2.2 规范性引用文件

本标准在 5.7 中新增了针对电火花线切割钼丝用途中对高温抗拉强度的描述，并单独列表规定了其参考的强度要求，因此在附录 C 中新增了针对如何测定高温抗拉强度的方法。基于此，本标准新增了规范性引用文件：《GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第 2 部分：高温试验方法》和《GB/T 10573 有色金属细丝拉伸试验方法》。

2.3 分类和标记

2.3.1 用途

本标准将原标准中的用词“线切割”修改为“电火花线切割”，并将其在牌号 MoLa 中的排列顺序调整为第一，修改理由如下：其一是其用途应用范围已超过总体钼丝用途的 30% 以上；其二是可以精确表达其实际用途，提高标准的专业性和准确度；其三是应用导向清晰化，MoLa（掺镧）钼丝因其独特的再结晶温度和高温抗下垂性能，在高端精密模具、医疗器械零部件等高精度、高表面质量的电火花线切割加工中已成为首选材料，市场占有率超过 80%。因此，在 MoLa 牌号的用途中将其列在首位。而 Mo1（纯钼）丝则在普通喷涂、非关键加热元件等对高温性能要求不极端、成本敏感的应用中更具优势。这种分类指导有助于用户根据自身加工需求和成本预算进行精准选材，避免因材料误用导致的质量问题或成本浪费，具体见表 3。

表3 钼丝牌号及用途

牌号	用途
Mo1	喷涂、照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、加热元件、钼箔带等
MoLa	电火花线切割（以下简称“线切割”）、喷涂、照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、加热元件、焊接电极、高温构件等
MoY	钼箔带、支架、引出线、加热元件、高温构件等
MoK	引出线、喷涂、加热元件、高温构件、打印机针头等

2.4 要求

2.4.1 直线性

原标准仅对矫直型钼丝和普通型钼丝做出直线性规定，基于现有的钼丝市场发展需求是不够全面的。钼丝的直线性对电火花线切割加工来说也有一定的影响，由于加工过程中，钼丝在一定的张力控制下进行往复走丝，直线性好的钼丝其加工轨迹保持在中心位置，可以保持良好的切割状态，丝材不易发生断丝。反之，直线性较差的钼丝在加工时行进位置容易发生偏移，则容易出现丝材的不均匀放电现象，导致钼丝表面烧伤、积碳和周期性黑斑，丝材极易断丝，其加工寿命相对较短。

本标准经过对各参编单位的调研及数据收集，电火花线切割钼丝的直线性属于各家企业的常规检测项，因此增加对电火花线切割钼丝的直线性要求是必要的。具体如下表所示：

表4 各家企业电火花线切割钼丝直线性检测频率

企业名称	钼丝类型	检测频率
企业 1	矫直型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	普通型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	电火花线切割钼丝（曲环法）	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 2	矫直型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	普通型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	电火花线切割钼丝（曲环法）	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 3	矫直型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	普通型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	电火花线切割钼丝（曲环法）	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 4	矫直型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	普通型钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
	电火花线切割钼丝（曲环法）	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规

本标准基于对大量电火花线切割设备生产厂商及终端用户的走访及数据收集，根据收丝工装的特点，新增了针对电火花线切割钼丝直线性的规定（在草案中 5.4.3）如下表 5 所示，并新增了曲环法（在草案中 6.4.3）用于测试是否满足规定要求。

表5 电火花线切割钼丝直线性要求

直径 d μm	曲环直径 D mm
30<d≤130	≥50
130<d≤190	≥80

直径 d μm	曲环直径 D mm
190<d<350	≥120

2.4.2 室温抗拉强度与延伸率

抗拉强度及延伸率是表征钼丝性能的主要指标，影响着钼丝的使用效果。

随着现代快、中走丝设备的不断升级，当前电火花切割加工的平均加工电流由原来的2~3A已提升到4A以上，生产效率提高一倍。而现有电火花线切割钼丝因强度低，难以长期承载超负荷的4A以上的大电流工作。此外，现代中走丝/快走丝机床普遍采用更高的恒张力控制系统，以实现更稳定的丝振动控制和更高的轮廓精度，有效减小钼丝的横向振幅和滞后，是进行“无条纹切割”、多次修刀获得良好表面质量的前提。

因此，钼丝必须具备更高的抗拉强度，才能保证在更大的加工电流下保持稳定的切割效率和较长的使用寿命，才能在高张力下安全运行而不发生过量塑性伸长或突发断裂，保证加工精度。原标准中规定的抗拉强度要求已远低于现有的电火花线切割市场需求。

原标准在对线切割钼丝的规定中并未对延伸率提出要求，这是落后于行业实践的。现代快、中走丝机床往复速度、无条纹切割技术对钼丝的动态性能要求极高，且在精修阶段，丝速、张力、能量参数多变，对钼丝的韧性（抗疲劳性）提出了严苛要求。整个电火花线切割加工行业对加工精度的要求已不同于往日。然而，延伸率过低，切割加工时易出现钼丝断裂；延伸率过高，线切割加工时易出现丝材延伸，导致局部松紧不一，影响切割一致性。因此，需要设定明确的延伸率上下限。

本标准经过对各参编单位的调研及数据收集，电火花线切割钼丝的室温抗拉强度及延伸率属于各家企业的常规检测项，因此增加对电火花线切割钼丝的延伸率的要求是必要的。具体如下表所示：

表6 各家企业电火花线切割钼丝室温抗拉强度及延伸率的检测频率

企业名称	钼丝类型	检测频率（室温抗拉强度）	检测频率（延伸率）
企业 1	电火花线切割钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 2	电火花线切割钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 3	电火花线切割钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规
企业 4	电火花线切割钼丝	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规	☐ 从不 ☐ 少量 ☒ 常规

综上，本标准规定了电火花线切割钼丝的抗拉强度、延伸率应符合表 6 所示。

喷涂钼丝抗拉强度、延伸率和其他用途钼丝抗拉强度、延伸率则沿用原标准，当客户有特殊室温力学性能要求时，由供需双方协商议定。

表7 电火花线切割钼丝抗拉强度

直 径 (d) μm	抗拉强度 MPa	延伸率 %
30<d≤130	≥2400	1.5~3.6
130<d≤190	≥2300	1.6~3.9
190<d<350	≥1800	1.8~4.0

2.4.3 高温抗拉强度

电火花线切割的本质是脉冲放电产生瞬时超高温（可达 10000℃以上）熔化工件。尽管放电时间极短，但放电点附近丝材表面的瞬时温升和热循环效应极为剧烈。室温强度无法反映丝材在此极端热冲击下的抗拉能力。

本标准增加高温抗拉强度测试，直接评价了丝材在接近实际工作温度区间的力学性能，是预测其抗多次放电腐蚀能力、疲劳寿命和高速切割稳定性的最有效指标。据测算，在平均电流达到 4~5A 时，电火花线切割加工钼丝的工作温度可达到 1300℃以上，因此，需新增“高温抗拉强度”作为表征电火花线切割钼丝在实际加工环境下加工能力的一个技术指标。

综合对各家参编单位调研收集的信息，考虑到 1300℃高温抗拉强度检测，对检测设备、操作工艺、环境控制要求较高。头部龙头企业可独立设计并改造电子拉力试验机，实现检测设备自主保障，具备检测高温抗拉强度的能力，但大部分中小钼丝生产企业缺乏高温电子拉力试验机，且无标准化简易检测方案，当前阶段难以实现该指标检测的全面普及。

同时，现阶段制造检测 1300℃高温抗拉强度电子拉力试验机的制造成本高，且暂未形成较系统、权威的高温抗拉强度检测的第三方专业机构，因此企业检测高温抗拉强度的成本高，难以形成常态化。但为了推进电火花线切割行业的整体发展，协同电火花线切割钼丝的不断升级，本指标的新增设定具有极高的必要性和积极意义。

基于以上考虑，本标准新增规定了电火花线切割钼丝在 1300℃下的高温抗拉强度宜符合表 8，但本指标是否采用作为供需双方自主选择，仅供参考。

表8 电火花线切割钼丝高温抗拉强度

直径 d μm	抗拉强度 Mpa
$30 < d \leq 130$	≥ 700
$130 < d \leq 190$	≥ 650
$190 < d < 350$	≥ 600

2.4.4 试验方法

2.4.4.1 直线性

本标准新增曲环法用于检验电火花线切割钼丝的直线性是否满足规定要求，如下所示：

直径小于或等于 350μm 的钼丝，取 800~1200mm 钼丝，手握钼丝两端并缓慢收缩两端距离，将其放在平滑的水平面上，钼丝自然形成曲环，用直尺测量曲环直径 D，如图 1 所示。

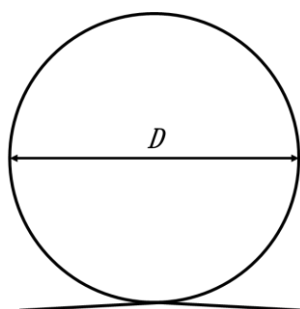


图 1 曲环法示意

2.4.4.2 高温抗拉强度

本标准针对新增的高温抗拉强度规定，新增了高温抗拉强度的检测方法，并在附录 C 中体现，具体如下：

附 录 C (资料性) 高温抗拉强度测试

C.1 设备

10 N、30 N、200 N、500 N 高温电子拉力试验机。

C.2 测试方法

- C.2.1 根据钼丝的直径选择不同的测量设备及测量范围。
- C.2.2 拉力试验机上下夹头距离为450 mm长度。
- C.2.3 试样制备按照 GB/T 10573进行。
- C.2.4 试样通过上下夹头夹持，装夹试样时要保持试样自由下垂且平直，必要时对试样施加预张力，其大小一般不超过丝材最大力的5%。
- C.2.5 试样须穿过加热装置，在加热装置中通入足量氢气，并将空气排空至内部充满氢气。
- C.2.6 通电加热，通过辐射加热方式将试样加热至 $1300 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ，并保持1~2min的保温。
- C.2.7 保温时间结束后，通过控制系统启动拉力机，加载拉断，拉伸测量速度为 $0.3\text{mm/s} \sim 0.8\text{mm/s}$ 。
- C.2.8 在操作软件上采集并记录相关检测信息，以上高温检测方法的设备简易图示可参考图2。
- C.2.9 钼丝在距夹头根部5 mm以内拉断时测试值无效，应重测。
- C.2.10 原则上抗拉强度单位应使用国际单位Mpa。但为了方便可使用单位N/mg、gf/mg，换算关系参见附录D。

注：当需方有特殊需求时，可根据要求变更拉伸条件。

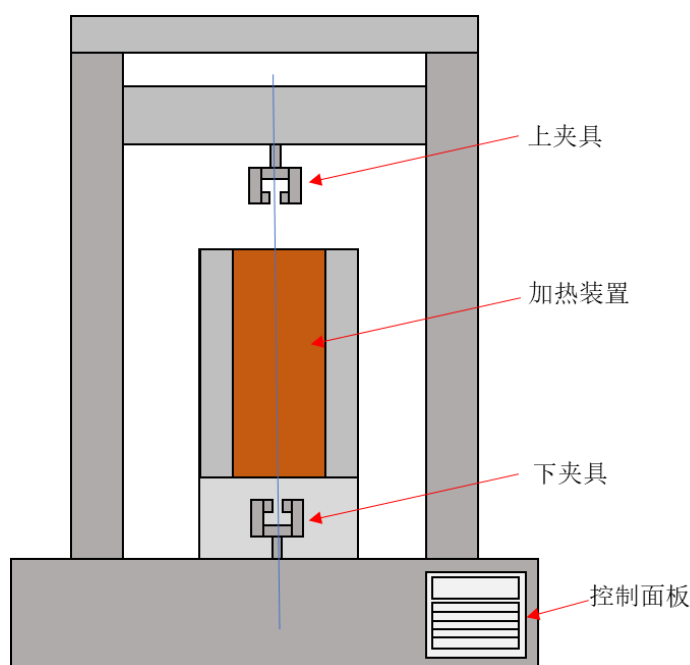


图2 高温抗拉强度检测方法设备简易图示

3.1 线轴与复绕

原标准中 5.9.3 线轴与复绕针对复绕在塑料线盘、胶木线盘或金属线盘上的丝材直径规定为小于或等于 $400\text{ }\mu\text{m}$ ，与 8.2 包装的描述不一致，并且 $400\sim 700\text{ }\mu\text{m}$ 范围未做具体规定。根据实际情况及 8.2 包装的描述，本标准修订为：

每轴（卷）钼丝应是连续一根整丝，直径小于或等于 $700\text{ }\mu\text{m}$ 的钼丝除小长度钼材外应绕在塑料线盘、胶木线盘或金属线盘上。

本标准修改后，可以覆盖基本所有的规格范围，另外标准上下文描述一致。

3.2 标志、包装、运输、贮存及随行文件

直接引用原标准。

（三）主要试验（或验证）情况分析

1、室温抗拉强度及延伸率

针对电火花线切割钼丝，按照本标准规定的方法：按GB/T 228.1和GB/T 10573规定的方法进行检测，并对结果进行了验证，验证数据见表9和表10：

表9 电火花线切割钼丝抗拉强度

企业	序号	直径 d μm	抗拉强度 MPa						
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	均值
企业 1	1	120	≥2400	2803	2871	2890	2994	2702	2852
	2	140	≥2300	2703	2759	2681	2890	2882	2783
	3	160	≥2300	2823	2584	2593	2711	2839	2710
	4	180	≥2300	2648	2785	2536	2760	2521	2650
	5	200	≥1800	2269	2423	2308	2138	2257	2279
	6	220	≥1800	2162	2096	2156	2244	2352	2202
企业 2	1	120	≥2400	2518	2539	2551	2804	2698	2622
	2	140	≥2300	2569	2576	2613	2586	2623	2593
	3	160	≥2300	2538	2518	2654	2592	2613	2583
	4	180	≥2300	2493	2343	2351	2368	2573	2426
	5	200	≥1800	2395	2244	2341	2303	2363	2329
	6	220	≥1800	2261	2467	2230	2079	2061	2220
企业 3	1	120	≥2400	2437	2412	2461	—	—	2437
	2	140	≥2300	2379	2409	2387	2476	2595	2449
	3	160	≥2300	2307	2362	2504	2513	2340	2405
	4	180	≥2300	2774	2466	2646	2375	2497	2552
	5	200	≥1800	2295	2248	2142	1925	2116	2145
	6	220	≥1800	1859	2014	—	—	—	1937
企业 4	1	120	≥2400	2619	2646	2630	2636	—	2633
	2	180	≥2300	2353	2358	2682	2682	2717	2558

表10 电火花线切割钼丝延伸率

企业	序号	直径 d μm	延伸率 %						
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	均值
企业 1	1	120	1.5~3.6	2.34	2.17	2.13	2.07	2.39	2.22
	2	140	1.6~3.9	2.3	2.05	2.28	2.15	2.17	2.19

企业	序号	直径 d μm	延伸率 %						
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	均值
企业 1	3	160	1.6~3.9	2.07	2.19	2.11	2.27	2.21	2.17
	4	180	1.6~3.9	2.09	2.57	2.1	2.3	2.54	2.32
	5	200	1.8~4.0	2.14	2.09	2.29	2.38	2.1	2.20
	6	220	1.8~4.0	2.04	2.36	2.41	2.11	2.08	2.20
企业 2	1	120	1.5~3.6	2.58	2.44	2.72	2.69	2.88	2.66
	2	140	1.6~3.9	2.58	2.44	2.72	2.69	2.88	2.66
	3	160	1.6~3.9	2.46	2.74	2.96	2.62	2.88	2.73
	4	180	1.6~3.9	2.66	2.65	2.65	2.81	2.92	2.74
	5	200	1.8~4.0	2.46	2.50	2.50	2.40	2.46	2.46
	6	220	1.8~4.0	2.78	3.14	2.77	3.43	3.26	3.08
企业 3	1	120	1.5~3.6	2.16	2.62	2.30	—	—	2.36
	2	140	1.6~3.9	2.20	2.00	2.20	1.90	2.14	2.09
	3	160	1.6~3.9	2.20	2.10	2.60	2.30	2.10	2.26
	4	180	1.6~3.9	2.90	2.70	2.80	2.30	2.60	2.66
	5	200	1.8~4.0	2.00	2.60	2.60	2.80	2.00	2.40
	6	220	1.8~4.0	2.37	2.22	—	—	—	2.30
企业 4	1	120	1.5~3.6	2.64	3.09	2.75	2.64	—	2.78
	2	180	1.6~3.9	2.64	2.64	2.67	2.54	2.64	2.63

根据上述测试数据，可以得出在各个直径规格区间内的平均值数据如表11所示：

表11 电火花线切割钼丝抗拉强度及延伸率

直径 d μm	抗拉强度技术标准 MPa	区间内平均抗拉强度 MPa	延伸率技术标准 %	区间内平均延伸率 %
30<d≤130	≥2400	2659	1.5~3.6	2.51
130<d≤190	≥2300	2571	1.6~3.9	2.44
190<d<350	≥1800	2213	1.8~4.0	2.46

表9和表10中各样品按照标准草案中规定的方法进行检测，各样品在对应的直径区间内平均抗拉强度和延伸率均符合标准草案的技术要求。

2、高温抗拉强度

电火花线切割的本质是脉冲放电产生瞬时超高温（可达10000℃以上）熔化工件，因此其基体在通电后承受较高的加工温度，基于放电高温切割工况会对钼丝组织及因高温蠕变导致钼丝松弛延伸变细及强度下降影响切割效率，所以关注高温抗拉强度十分必要。而电火花线切割加工（主流加工电流约4A左右）时，其承受的加工温度的设定理由如下：

其一是放电切割过程钼丝表面受高温冲击，纤维组织向再结晶转变，钼钨丝1300℃左右组织开始再结晶作用，而放电切割过程钼丝表层因高温作用会出现再结晶组织。

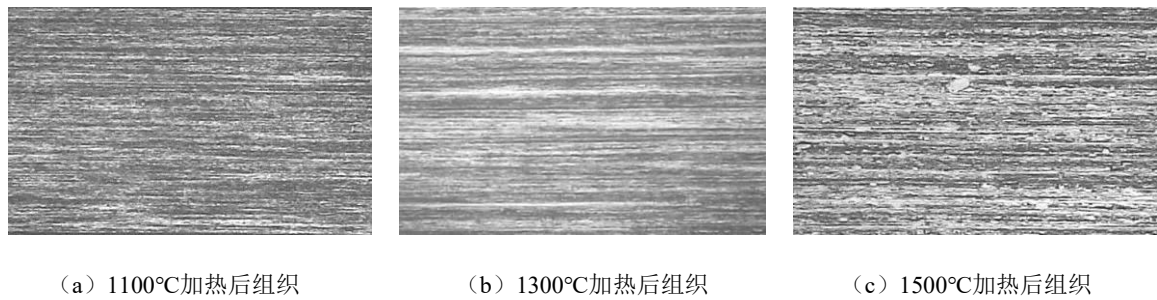


图3 经过3个温度点加热后的钼丝组织

如下图4电极丝在不同冷却条件横截面温场分布可以看出，在不同的冷却条件下，其基体表面出现再结晶组织的区域不同，冷却越差出现再结晶组织的区域越多。对比发现钼丝在1300℃加热组织与放电切割后组织十分相近，故设定1300℃有较强参考作用。

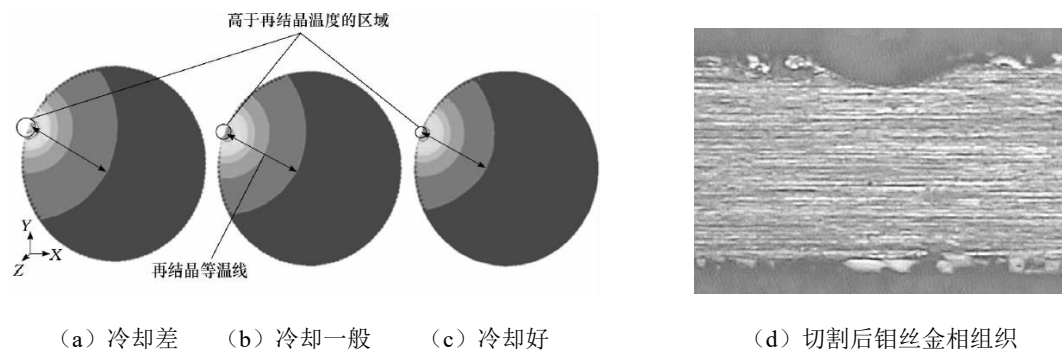
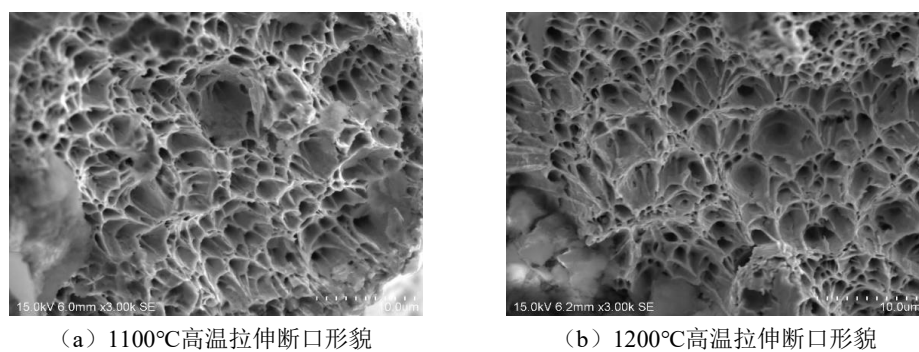
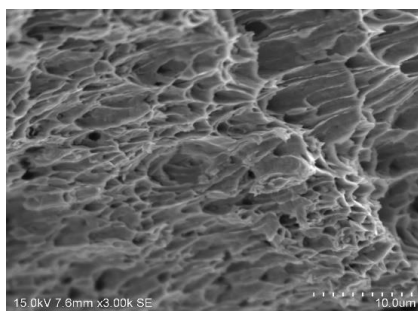


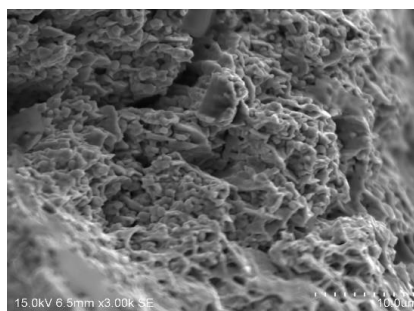
图4 不同冷却条件横截面温场分布和实际切割的钼丝金相组织

其二是根据我们对 $\phi 0.18\text{mm}$ （市面上主流规格）电火花线切割钼丝做了不同温度点的高温拉伸后，如下图5所示为不同温度点的高温拉伸断口形貌。在1300℃高温拉伸从其断口形貌可以看出是韧脆性能转折点，因此监测1300℃钼丝高温强度及参考这个温度点的组织十分有指导意义。





(c) 1300°C高温拉伸断口形貌



(d) 1400°C高温拉伸断口形貌

图5 不同温度点的高温拉伸断口形貌

其三是如下图6所示，不同样品在不同的温度下进行高温拉伸的伸长量不同，可以说明其高温抗蠕变能力不同。 $\phi 0.18\text{mm}$ （市面上主流规格）电火花线切割钼丝在1300°C高温条件下，通常是蠕变松弛转折点，能较好甄别及评判出不同性能电火花线切割钼丝高温抗蠕变性能及分析指导实际切割过程电极丝高温切割抗松弛能力。

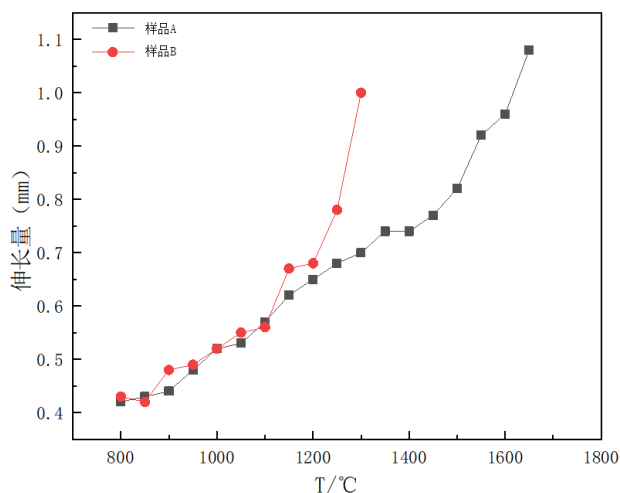


图6 不同样品在高温拉伸的伸长量

基于以上理由，本标准规定在做高温抗拉强度的测量时，应把测定温度的中心值设定为1300°C。

针对电火花线切割钼丝，按照本标准规定的方法，按GB/T 228.2规定的方法进行检测，并对结果进行了验证，验证数据见表12：

表12 电火花线切割钼丝高温抗拉强度

企业	序号	直径 d μm	高温抗拉强度 MPa						
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	均值
企业 1	1	120	≥700	1015	1050	1060	986	1064	1035
	2	140	≥650	977	966	1013	1006	1048	1002
	3	160	≥650	988	924	933	993	942	956
	4	180	≥650	874	964	951	945	881	923
	5	200	≥600	893	857	852	824	914	868
	6	220	≥600	851	818	842	822	842	835
企业 2	1	120	≥700	881	763	996	870	—	878
	2	140	≥650	806	774	706	814	705	761
	3	160	≥650	671	653	719	716	731	698
	4	180	≥650	942	884	952	946	745	894
	5	200	≥600	645	665	651	656	—	654
	6	220	≥600	749	697	607	611	—	666
企业 3	1	180	≥650	836	736	764	812	700	770
企业 4	1	160	≥650	696	663	670	—	—	676
	2	180	≥650	972	900	780	650	701	801
	3	220	≥600	608	623	—	—	—	616

根据上述测试数据，可以得出在各个直径规格区间内的平均值数据如表13所示：

表13 电火花线切割钼丝高温抗拉强度

直径 d μm	高温抗拉强度技术标准 MPa	区间内平均高温抗拉强度 MPa
30<d≤130	≥700	965
130<d≤190	≥650	838
190<d<350	≥600	751

表12中样品均按照标准草案中规定的方法进行检测，各样品的区间内平均高温抗拉强度均符合标准草案的技术要求。

3、直线性

根据不同梯度的曲环直径的φ0.18mm电火花线切割钼丝，我们进行了在同样的加工条件下的切割测试。从表14的测试结果来看，曲环直径越大，其切割面积越大，即切割寿命越长。

表14 不同曲环直径钼丝同等电流下切割寿命测试

序号	曲环直径(D) mm	工作电流 A	切割面积 mm ²
1	30	4	85000

序号	曲环直径(D) mm	工作电流 A	切割面积 mm ²
2	50	4	204000
3	80	4	256000
4	100	4	307000
5	120	4	347500
6	200	4	385600

根据以上数据表明，线切割钼丝的切割寿命随着直线性提高而增加，因此需要对电火花线切割钼丝的直线性做出规定。经过大量数据收集，可以得到表15。

表15 电火花线切割钼丝直线性样品测试数据

企业	序号	直径 d μm	曲环直径 D mm						
			技术标准	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	均值
企业 1	1	120	≥50	83	97	80	65	70	79
	2	140	≥80	95	86	100	102	93	95
	3	160	≥80	84	83	91	111	121	98
	4	180	≥80	109	144	157	81	134	125
	5	200	≥120	171	125	183	136	128	149
	6	220	≥120	135	145	162	150	173	153
企业 2	1	120	≥50	130	125	95	100	110	112
	2	140	≥80	140	130	140	150	160	144
	3	160	≥80	100	110	110	110	110	108
	4	180	≥80	100	95	170	170	110	129
	5	200	≥120	180	170	170	210	120	170
	6	220	≥120	120	130	150	160	170	146
企业 3	1	120	≥50	56	76	64	—	—	65
	2	140	≥80	85	82	84	86	84	84
	3	160	≥80	86	88	82	84	87	85
	4	180	≥80	88	81	92	86	85	86
	5	200	≥120	128	122	129	126	125	126
	6	220	≥120	125	128	—	—	—	127
企业 4	1	120	≥50	100	100	100	100	—	100
	2	180	≥80	100	120	110	90	100	104

表15中的样品均按照标准草案中规定的方法进行检测，各样品的曲环直径均符合标准草案的技术要求。

四、 标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、 预期达到的社会效益等情况

本文件适用于电火花线切割、照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、打印机针头等用钼丝。

当前国内钼丝行业存在产品质量参差不齐的问题，虽多数生产企业采用掺杂剂区分的多牌号生产销售模式，但缺乏统一适用的国家标准规范，导致中高端市场需求难以得到充分满足，给下游客户的选型、使用带来诸多困扰。而厦门虹鹭钨钼工业有限公司作为国内钼丝品类最齐全的企业之一，凭借深厚研发实力与高端客户合作经验制定的企业标准，已实现产品质量跻身国际先进水平。为此，本标准由厦门虹鹭钨钼工业有限公司牵头，联合金堆城钼业、成都虹波实业、成都长城钨钼新材料等国内主流生产企业，参考 ASTM 国际标准及国外先进企业技术规范，补充电火花线切割用钼丝直线性、1300℃高温抗拉强度等关键指标，明确室温抗拉强度及延伸率范围，形成科学完善的技术要求体系。

本标准的颁布实施，将产生显著的社会效益与行业价值：

引导产业升级，提升供给质量。促使生产企业规范原材料采购、优化加工工艺、完善检测手段，强化对高端产品的研发投入，缩小与国际先进水平的差距，助力《中国制造2025》等政策中高性能金属材料的发展目标落地。

适配高端需求，降低使用成本。通过专项指标升级与精准分类，让下游客户（尤其是汽车、精密加工等高端领域）能够高效选型，实现钼丝产品的低消耗、高稳定应用，为终端产业高质量发展提供材料支撑。

强化行业协同，激发创新活力。标准的统一将推动行业形成技术进步、品种丰富、性能提升的良性竞争格局，促进产业链上下游协同发展，提升我国钼丝行业的整体竞争力与国际话语权。

本标准适用于电火花线切割、照明用芯线、灯泡元器件、钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、打印机针头等多场景用钼丝，覆盖钼丝主流应用领域，适配不同行业的差异化需求。

六、 采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准在起草过程中参照了 ASTM F289-96（2025）《电子设备用钼丝及钼杆》，结合了如 GE、Philips、Osram 等世界先进钼丝生产企业的标准要求进行了修订。标准中的各项指标和检验方法达到或超过了原标准及 ASTM 标准，具体对比情况见附表。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准钼丝产品标准，没有现行的法律、法规、规章制度等对其要求，本领域没有强制性标准。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准属于有色金属领域专业产品标准，编制组根据起草前确定的编制原则进行了标准起草，标准起草过程中未发生重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

本标准全面覆盖了钼丝产品的一般性通用要求，适用于用户对钼丝的基础要求，但由于钼丝的应用领域不同，对质量控制重点要求、各项指标的要求程度不尽相同，在订货过程中，供需双方还需要对特殊要求进行进一步的明确。因此，建议本标准作为推荐性国家标准发布实施。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准全面覆盖了钼丝的一般要求，建议相关单位组织专项标准宣贯会进行系统的学习与贯彻实施。

本标准对钼丝的一般要求进行了约定，对特殊行业用钼丝有特殊要求时，建议供需双方在本标准基础上在订货合同中进行详细的约定或起草专项技术协议。

十一、 废止现行有关标准的建议

本标准在国家标准 GB/T 4182-2017《钼丝》的基础上进行修订，标准中的各项指标和检验方法达到或超过了原标准的要求，建议废止现行标准 GB/T 4182-2017《钼丝》。

十二、 其他应予说明的事项

无。

参考资料：

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 10573 有色金属细丝拉伸试验方法

GB/T 4325 （所有部分）钼化学分析方法

ASTM F289-96 电子设备用钼丝及钼杆

二〇二六年八月四日

附表 标准说明及对照表

比较项目	ASTM F289-96（2025）	GB/T 4182—2017	本标准	比较说明
标准名称	电子设备用钼丝及钼杆	钼丝	钼丝	-
标准适用范围	Grade 1-适用于引出线、挂钩、支架丝、加热元件及玻璃与金属封接用的商业纯钼丝； Grade 2-适用于制作芯轴的工业纯钼杆（黑杆或表面经过清理）； Grade 3—适用于引出线、挂钩、支架丝、加热元件及玻璃与金属封接用的商业纯钼杆。	本标准适用于照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、线切割、打印机针头等用钼丝，并列出了每种牌号的使用范围。	本文件适用于电火花线切割、照明用芯线、灯泡元器件及钼箔带、真空电子器件、喷涂、加热元件、焊接电极、高温构件、打印机针头等用钼丝。	本标准类似于 ASTM 标准，指明每种牌号产品的适用范围，有利于指导生产、购买及使用。 结论：高于国内外标准。
室温抗拉强度及延伸率	分成 4 个规格区间，最小抗拉强度的要求，延伸率方面 Grade 1 都是 >6%， Grade 2 都是 ≤6%。	按照钼丝用途列出：线切割抗拉强度、喷涂用途的抗拉强度及延伸率、其他用途钼丝的强度及延伸率要求。	新增了电火花线切割钼丝的延伸率要求上下限，并提高了抗拉强度的下限值。	本标准针对电火花线切割钼丝的延伸率的细化规定，有利于指导生产、购买及使用。 本标准提高了电火花线切割钼丝的抗拉强度下限要求，带动整体行业水平提升。 结论：高于国内外标准。
高温抗拉强度	无	无	新增规定了电火花线切割钼丝的高温（1300℃）抗拉强度的参考要求。	本标准结合电火花线切割加工特点，识别了模拟钼丝服役环境的关键质量特性，可以更好的指导国内线切割钼丝厂商的生产。本标准新增了电火花线切割钼丝的高温抗拉强度的参考要求。 结论：高于国内外标准。
直线性	1ft 内挠度≤1/8 英寸（300mm 内 ≤3mm）	矫直型：悬垂法（$d < 400\mu\text{m}$，$H > 400\text{mm}$）、圆弦法（$400 \leq d \leq 1000\mu\text{m}$，$h < 15\text{mm}$） 普通型：曲环直径≥200 倍丝径	新增了针对电火花线切割钼丝的专用要求。	直线性对电火花线切割钼丝的切割寿命有正向影响，曲环圈径越大，寿命越长。本标准新增了电火花线切割钼丝专用的直线性要求，并增加了一种检测方法。 结论：高于国内外标准。